

# 특 집

|| 콘크리트 교량에 적용된 신기술 ||

## 장수명화를 위한 콘크리트 교량 바닥판의 신기술

- New Technology for Durable Concrete Bridge Decks -



김영진\*  
Kim, Young Jin



정철헌\*\*  
Chung, Chul Hun



심창수\*\*\*  
Shim, Chang Su

### 1. 머릿말

도로교의 바닥판은 차량하중을 직접 지지하는 등 구조부재보다도 가혹한 사용 환경 하에 있고, 빠른 산업 발달의 과정에서 교량을 통과하는 차량의 축중의 증가와 함께 전체적인 통행량의 증가로 인해서 상대적으로 짧은 공용기간을 가진 교량임에도 불구하고 상당수 교량이 보수나 보강을 필요로 하는 정도의 손상을 보여주고 있다. 특히, 콘크리트 바닥판은 통과 차량의 축중 증가와 통행량 증가에 따른 피로 수명의 급격한 감소로 인해서 많은 교량의 바닥판에서 피로편칭전단파괴의 양상을 보여주고 있고 격자균열, 백태 등의 피로 파괴 이전 형태의 손상을 보여주고 있다.

한편 건설산업이 3D산업으로 인식되면서 숙련된 인력이 부족하고 고령화되어 산업생산성이 저하되는 실정이다. 따라서 거푸집 제작, 철근 배근, 콘크리트 타설 및 양생 등에 많은 인력이 요구되는 현장타설 RC 바닥판은 공기지연이나 부실시공마저도 우려된다. 실제로 주 구조부재보다도 바닥판의 손상이 압도적으로 많은데, 그 결과 고가 도로교는 단계적인 바닥판 교체 공사가 시행되고 있고, 한남대교 등 한강상 교량에 대해서도 바닥판 보수공사가 진행되거나 계획되고 있는 등 기존 교량 바닥판에 대한 보수공사가 증가하는 추세에 있다.

바닥판 파손에 대한 사후대책으로는 강판 접착, 탄소섬유슈트 접착 등의 보수·보강방법이 있으나, 교량 관리자의 입장에서는 구조적 성능이 우수하면서도 교통체증을 완화시킬 수 있는 공법

이 더 절실한 형편이다. 더욱이 도심지, 고속도로 및 국도상 교량은 완공 후 일단 사용하기 시작하면 교통체증, 우회도로건설 등의 제약으로 사용도중 보수공사가 어렵고 유지관리비가 초기 건설비보다 더 투입될 수 있기 때문에, 건설비와 유지관리비를 포함한 총생애비용(life cycle cost)면에서는 교통체증으로 인한 간접손실을 감소시킬 수 있도록 계획단계에서 부터 콘크리트 바닥판의 주된 파괴모드인 편칭전단 파괴를 방지할 수 있는 효과적인 대안의 하나로서, 균열 및 피로저항성이 개선된 바닥판 건설 공법을 적용하는 것이 더 바람직하다. 뿐만 아니라 교체된 후의 바닥판의 수명이 교량의 주 구조부재에 비해서 부족하지 않도록 고내구성일 필요성이 있다.

따라서 본고에서는 교량 바닥판의 역할과 기능을 재인식하고, 현재 주로 사용되고 있는 현장타설 RC 바닥판의 문제점을 개선하고자 개발되고 있는 바닥판 관련 신기술·신공법에 대한 최신 연구동향을 살펴보고자 한다.

### 2. 교량 바닥판의 역할

교량 바닥판의 구조적인 정의로는 교면에 작용하는 각종 하중을 직접 또는 포장을 매개로 마루조적을 통해 주구조의 소정의 위치로 그 하중을 분배·전달하는 부재로서, 포장이 시공되어 이루어진 평면상에 차량, 사람 등의 통행을 확보하는 부재라고 할 수 있다.<sup>1)</sup>

교량을 통행하는 운전자의 입장에서는 노면을 쾌적하게 주행할 수 있다면 바닥판만 존재하여도 큰 문제가 없다고 생각할 수 있

\* 정회원, (주)대우건설기술연구소 토목연구팀 수석연구원

\*\* 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 교수

\*\*\* 정회원, 중앙대학교 토목공학과 교수

표 1. 바닥판의 종류

대분류	중분류	소분류
콘크리트 바닥판	현장타설 바닥판	RC, PSC 바닥판
	거푸집 선조립식 바닥판	프리캐스트 PSC 거푸집 합성 바닥판
	프리캐스트 바닥판	RC, PSC 바닥판
	기타	FRC 바닥판, HPC 바닥판, 팽창 콘크리트 바닥판
합성 바닥판	콘크리트 매립형	I형강격자 바닥판, 형강매설 프리캐스트 바닥판
	강 판, 콘크리트 합성 바닥판	강판1매 방식(로빈슨형 합성 바닥판, 파이프 전단 연결재, 합성 바닥판, 파형강판 합성 바닥판 등) 강판2매 방식(샌드위치구조합성 바닥판)
	기타	GRC 거푸집합성 바닥판, FRP 합성 바닥판
강 바닥판	콘크리트합성 강 바닥판	강·콘크리트 합성 강 바닥판
	일반 강바닥판	신설 및 교체 강 바닥판

표 2 각종 바닥판의 특징비교

종류 항목	A. 현장타설 바닥판	B. 강 바닥판	C. 프리캐스트 바닥판	D. 합성 바닥판
강도	적절한 설계가 이루어지면, 소요의 강도를 얻을 수 있음			
치짐	큼	작음	큼	큼
중량	큼	작음 <sup>2)</sup>	큼 <sup>4)</sup>	중간 <sup>6)</sup>
내구성	중간 또는 작음 <sup>1)</sup>	중간 <sup>3)</sup>	중간 <sup>5)</sup>	큼 <sup>7)</sup>
품질	숙련공 필요, 공기가 길며, 현장작업 많음	공작제작으로 품질양호		거푸집 불필요, A보다 시공용이, 숙련공 필요
시공성		현장작업이 작고, 공기가 짧음		
경제성	큼	작음	중간	중간
유지관리	내구성에 문제가 있고, 유지관리 필요	피로균열검사, 부식방지대책 필요	현재까지는 양호하다고 보고됨	강판부식우려, A, B보다 유지관리용이

단, 1) 바닥판 지간이 짧고 두께가 얇아서 균열이 발생되고 내구성이 저하  
 2) 경량이 주요장점임  
 3) 피로균열, 부식에 유의해야함  
 4) 프리캐스트 바닥판의 경우, PS 강재가 필요  
 5) 프리캐스트 바닥판은 내구성이 양호  
 6) 구조를 합리화하고 바닥판을 얇게 한 경우  
 7) 전단연결재의 피로균열과 합성 바닥판간 이음부 균열에 유의

는데, 중지간 이상에서 주로 사용되는 슬래브-거더 형식의 교량에서 구조적으로 이런 상황은 있을 수 없고 바닥판을 지지하기 위한 마루조직이나 주구조가 존재하게 된다. 실제 바닥판이나 포장보다는 상대적으로 구조가 복잡한 마루조직이나 주구조에 교량 기술자의 관심이 집중되어 마루조직이나 주구조의 설계나 시공기술에만 치중하고 바닥판이나 포장에 관해서는 상대적으로 관심이 적은 것이 일반적이다. 실제 주구조에 대한 설계도면은 수심매에 달하는 경우도 바닥판에 대해서는 평면도, 단면도, 철근상세도 등 기껏해야 수매에 불과한 것이 그 한 예라 할 수 있다. 그러나 마루조직이나 주구조의 설계가 잘 이루어진다 해도 바닥판이 그 기능을 상실하면 차량, 사람 등의 통행은 곤란하게 된다.

교량 바닥판은 평면을 구성하는 구조체로서, 판(板, plate)으로서 해석한다. 일반적으로 판(板)은 평면에 직각으로 작용하는 하중에 의해서 전단력, 휨 및 비틀림이 생기는 구조체를 말한다. 즉 전단력과 휨모멘트만이 발생하는 보부재가 일차원인 것에 대해, 평판(平板)이라고도 하는 판(板)은 2차원 부재이다. 한편 이것에 비하여 면이 곡면이고 면에 직각방향으로 전단, 휨 및 비틀림이 생길 뿐 아니라, 면내방향으로 인장력, 압축력이 발생하는 구조물을 셸(shell)라고 칭하고, 셸중 휨강성이 없고 면내력으로 저항하는 구조체를 막(膜, membrane)이라고 한다.

보통 바닥판은 침하하지 않는 주형으로 지지된 판으로 가정하

고 해석한다. 도로교의 경우는 네 변이 지지된 이방향 판과 두 변이 지지된 일방향 판이 있을 수 있지만, 도로교 바닥판의 경우에는 이방향 판으로 되는 경우가 대단히 드물어, 국내 '도로교표준시방서'에서는 바닥판을 폭 1m의 일방향 판으로 취급하여 설계하도록 하고 있다.

한편 일본의 경우 상판(床版)중 "판"을 한자로 "版"이라 표기하고, 구조부재를 지칭하는 "板"이라는 글자는 사용하지 않고 있다. 이는 명확하지는 않지만, 20세기초까지는 목판(木板)이 바닥판으로 많이 이용되어 마루구조(flooring)을 문자 그대로 床板으로 표기한 것 같고, 그 후 교량 바닥판으로 목재를 사용하지 않고 콘크리트나 철근 콘크리트를 주로 이용하게 되자 이를 명확히 하기 위해 床版이라고 쓰지 않았나 추정된다.<sup>2)</sup>

### 3. 교량 바닥판의 개발동향

현재 교량에 사용되고 있는 각종 바닥판을 대별하면, ① 기존에 널리 사용되고 있는 중소 지간용의 현장타설 RC 바닥판, ② 장대교 등을 대상으로한 강바닥 판, ③ 품질향상과 공사의 신속화를 위해 최근 관심이 집중되고 있는 RC 또는 PSC 프리캐스트 바닥판 및 ④ 건설재료의 효율적 사용을 도모하기 위한 합성 바닥판 등으로 구별될 수 있다. <표 1>은 현재까지 개발되어 사용중

이거나 개발중인 바닥판의 종류를 정리한 것이다<sup>3)</sup>. 개발중인 바닥판은 공기의 단축, 노후 바닥판의 교체, 기존 바닥판의 균열·피로저항성 향상 등을 목적으로 하고 있으며 대부분 공장제품으로 제작되어 시공관리 되고 있다.

〈표 2〉는 〈표 1〉의 각종 바닥판의 특징과 개요를 기술한 것이다<sup>4)</sup>. 표에서 알 수 있는 바와 같이, 각 바닥판은 고유의 특징과 장점을 갖고 있기 때문에 시공성, 경제성 및 교통소통 등을 종합적으로 고려하여 적합한 바닥판을 사용하여야 한다.

#### 4. 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 적용사례

국내에 적용된 프리캐스트 콘크리트 바닥판의 주요 적용 사례는 중부내륙고속도로 시험주로내의 삼승1교, 서해대교 및 삼천포대교이다. 삼승1교의 경우 바닥판간 이음부에 압축력을 도입하기 위하여 내부 긴장재를 갖는 프리캐스트 바닥판 형식을 취하고 있다. 서해대교 및 삼천포대교는 사장교이며, 적용된 프리캐스트 콘크리트 바닥판은 바닥판간 이음부가 루프이음 형식이다. 주요 사례별로 적용사례를 살펴보면 다음과 같다.

##### 4.1 삼승1교

중부내륙고속도로 시험주로내 시공된 삼승1교는 5주형 판형교로써 지간이 40m, 폭 12.6m 편도 2차선 도로이다. 삼승1교에 적용된 프리캐스트 바닥판의 구조는 〈그림 1〉과 같다<sup>5)</sup>. 바닥판의 제원은 교축방향으로 2m, 교폭방향으로 12.6m이며, 바닥판의 두께는 220mm이다. 바닥판간 이음부의 형식은 암(female)-암 형태이고, 이음부의 채움재료는 무수축 모르타르를 사용하였다. 총 18매의 프리캐스트 바닥판이 사용되었고, 양 단부는 현장타설 철근 콘크리트로 시공되었다. 본 교량은 순수 국내기술로 제작, 설계 및 시공되었으며 내부 긴장재를 갖는 바닥판으로서는 국내 최초라는 점이 특징이다. 본 기술은 2004년 2월에 건설교통부 신기술 405호로 지정 받았다.

##### 4.2 삼천포대교<sup>6)</sup>

삼천포 대교는 국도 3호선(남해 ~ 초산) 중 미개통 구간인 남해군 창선면 대벽리와 사천시 대방동을 연결하는 총연장 3.4km의 연육교이다. 교량 바닥판의 시공은 프리캐스트 바닥판을 해상부 운반은 집안시설에 traveling lift를 사용하여 운반, 아적된 프리캐스트 슬래브를 육상크레인(50톤)을 이용하여 바지선(barge) 위에 선적하였다. 바지선의 프리캐스트 슬래브는 강형반입수량이 2조임을 감안하여 12장씩 선적하였다. 프리캐스트 슬래브의 인양 및 거치는 교량 상판에 설치된 데릭크레인으로 하였다(〈그림 3〉 참조). 현장 조인트 타설용 무수축 콘크리트는 2시간 이내에 연속 타설되도록 계획되었다.(〈그림 4〉 참조)

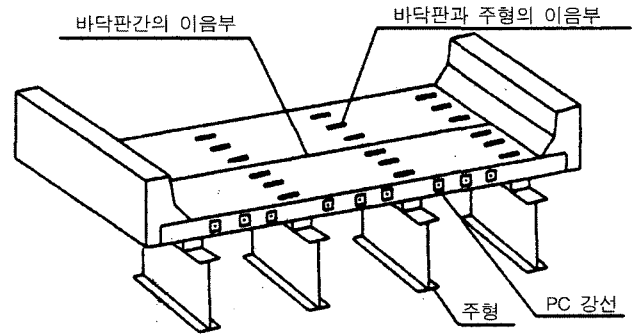


그림 1. 프리캐스트 콘크리트 바닥판 구조

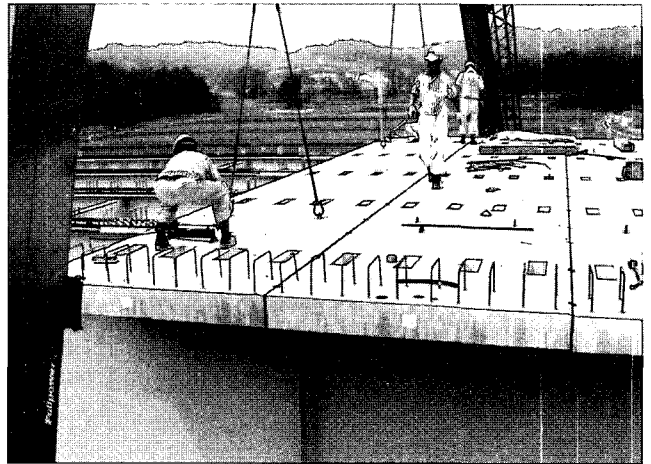


그림 2. 삼승1교 시공전경

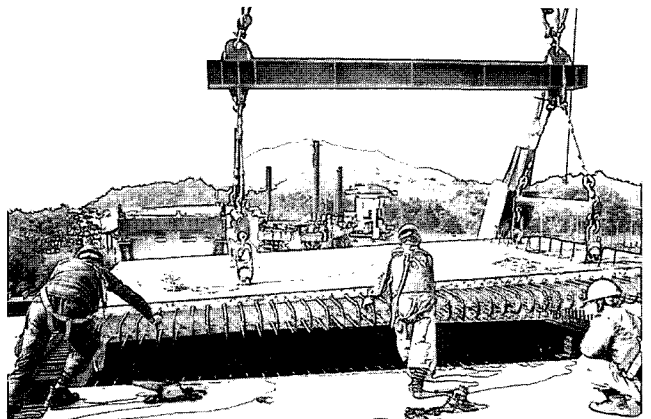


그림 3. 바닥판의 거치(삼천포대교)

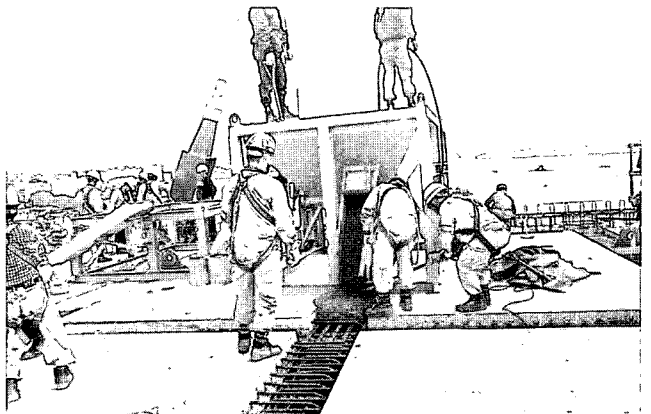
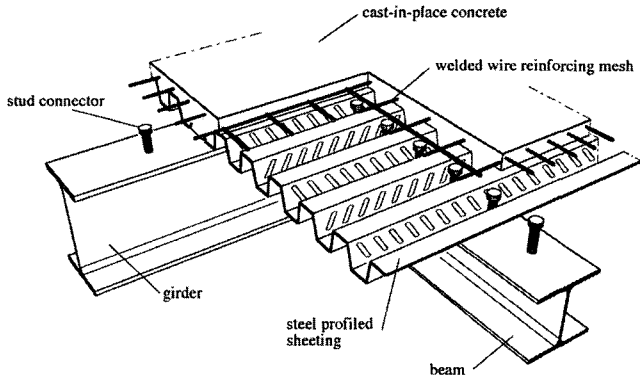
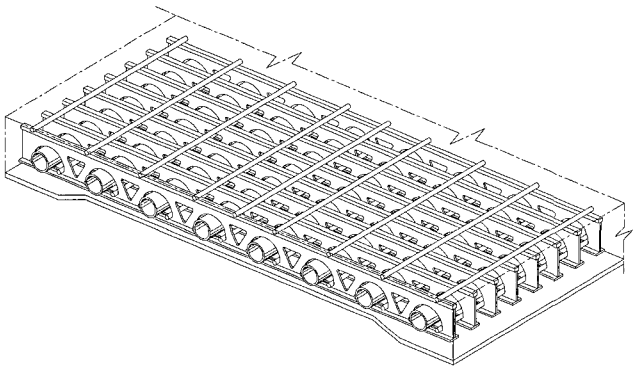


그림 4. 무수축 콘크리트 타설(삼천포대교)



(a) 금속바닥판을 이용한 합성 바닥판



b. I형강 매입 합성 바닥판

그림 5. 합성 바닥판의 예

## 5. 합성 바닥판의 개발 및 사례<sup>7,8)</sup>

### 5.1 개요

합성 바닥판은 바닥판 자체가 콘크리트와 강재의 합성작용을 통해 높은 강성과 강도를 확보하는 구조로서 바닥판의 두께를 감소시켜서 교량의 자중을 감소시킬 수 있다. 특히, 바닥판의 지간이 긴 경우에는 효과적으로 적용될 수 있기 때문에 소수 거더교 등에 적용될 수 있다. 대표적인 합성 바닥판의 종류는 <그림 5>에 나타난 바와 같이 금속 바닥판을 이용한 경우와 I형강을 주철근 대용으로 매입한 형태의 합성 바닥판이 있다. 교량의 바닥판은 주로 I형강 매입 합성 바닥판이 적용되어 왔는데 합성 바닥판은 구조적 장점을 갖는 반면에 설계의 복잡성이라는 단점을 가지고 있기 때문에 적절한 표준화와 함께 설계의 단순화가 필요하다.

### 5.2 미국의 연구 및 적용사례

I형강 바닥판은 미국에서 현수교용 바닥판으로서 연구·개발되었다. 해안횡단 프로젝트 등에 있어서의 장대현수교의 건설을 경제적으로 하기 위하여 주형형식이 트러스, 박스 어느 쪽에 관계 없이 차도부 바닥판에 대하여 open grating을 적극적으로 사용하였다. 즉, open grating의 사용에 의하여, 고정하중의 감소뿐만 아니라 내풍 안정화를 위한 보강을 경감시키고자 하였다. 특히, 장대현수교에서는 바닥판 중량의 지지구조가 전체구조 중량에 차지하는 비율이 매우 크기 때문에 바닥판의 경량화는 바닥판 자체의 경제성뿐만 아니라, 케이블, 주탑, 앵커 등 바닥판 이외의 전체 구조의 경량화에도 직결되기 때문이다. 또한 이와 같은 구조는 전체구조의 경량화와 더불어 시공 간소화를 통한 급속 시공을 동시에 충족할 수 있는 바닥판으로서 I형강 바닥판이 연구되었다. <표 3>은 미국 장대현수교에 사용된 I형강 바닥판의 예이다.

완성당시(1964년) 세계최장 교량인 Verrazano-Narrows에도 I형강 합성 바닥판이 사용되었다. 구조적으로는 상부의 배력철근에 평강(flat bar), 하부 배력근에 철근(구철)이 사용되고 있으며, 상부 콘크리트 피복두께는 19mm로 대단히 얇고, 전체 바닥판 두께도 127mm로 되어 있는데, 이것은 바닥판 고정하중을 억제하기 위해 바닥판 두께를 될 수 있는 한 얇게 하려고 한 결과이다. <그림 6>의 I-beam rock을 사용한 장대현수교 건설 이후에 상부 배력철근은 평강을 대신하여 철근이 사용되고 있으며, I형강 단면의 상부 플랜지 부분이 등근형태로 개선되었다. 또, 상부 콘크리트의 피복두께도 44mm를 확보하고 I형강의 사이에 철근을 배근하여 I형강의 간격을 228mm로 넓히게 되었다. 또한, I형강에 뚫은 펀칭 홀(punch hole)도 I-beam rock에 비하면 큰 단면으로 하였는데 이는 종래의 연구성과에서 시공성과 내구성 등에 문제점이 발견됐기 때문이다.

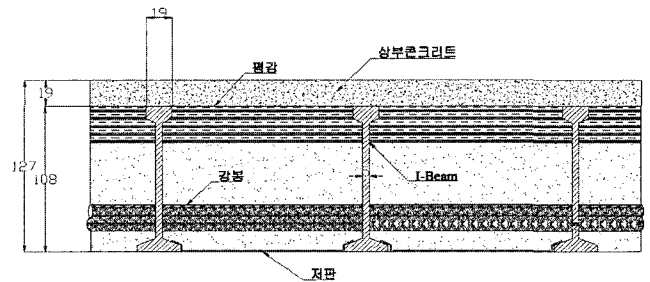


그림 6. U.S. Steel사의 4" I-Beam Rock

표 3. 미국 장대현수교에 사용된 I형강 합성 바닥판의 예

교명	준공년도	주경간장 (m)	바닥판 지지부재 간격(m)	바닥판
Bronx-Whitestone	1939	701.04	2.00	I-beam 높이 114 mm, 아스팔트포장 40 mm
Mackinac-Straits	1957	1158.24	1.45	I-beam 높이 108 mm, 상부 콘크리트 두께 19 ~ 45 mm
Walt-Whiteman	1957	609.73	1.28~1.58	I-beam 높이 108 mm, 상부 콘크리트 두께 19 mm, 아스팔트 포장 64 mm
George-Washington	1960	1066.80	1.60	I-beam 높이 108 mm, 상부 콘크리트 두께 51 mm
Verrazano-Narrows	1964	1298.45	1.26	I-beam 높이 108 mm, 상부 콘크리트 두께 44 mm

한편, 미국의 도로교의 설계기준인 AASHO의 1965년도판에 기술되어 있는 I형강 합성 바닥판에 관한 설계·시공의 기준이 제시되어 있는데 이 기준에서는 3경간 이상의 연속교로 할 것, I형강 합성 바닥판의 설계힘모멘트 산출식은 RC의 것을 준용할 것, 충분한 횡방향 분배를 확보할 수 있는 횡방향 부재를 사용할 것을 명시하고 있고 연속판으로 하여 바닥판 경간을 적게 하여 판으로서의 거동을 나타낼 수 있게 충분한 횡분배를 도모할 수 있는 구조로 설계되도록 규정하고 있다. 또한, 공장제작된 판넬 간 연결은 용접, 또는 볼트, 리벳에 의하고 판넬과 주거더와의 연결은 용접하도록 하였고 I형강의 하부 플랜지간에 금속판 또는 목재판을 끼워 넣어 저판으로 하도록 하였다. 미국에서의 open grating구조는 현장에서 용접량이 많고 충분한 시공관리가 필요한 것으로 보고되고 있다.

미국에서는 Exodermic Bridge Deck, Inc., IKG Greulich, American Bridge Company 등의 합성 바닥판 설계 및 제조회사 있으며 특수 제작한 I형강과 띠형 강재를 합성으로 연결하여 접합하고 전체 혹은 상부에 콘크리트를 타설한 제품이 사용되고 있다. I형강은 높이 130mm 정도이며 간격은 상부하중 및 거더 간격에 따라 6, 8, 10인치로 한다. 미국 IKG에서는 1930년에 개발하여 계속 발전을 거듭하여 왔고 교통량이 많은 도로교에서 약 50년 사용결과 유지보수비가 적고 내구성이 뛰어난 것이 입증되었다. <그림 7>에 대표적인 예를 나타내었다.

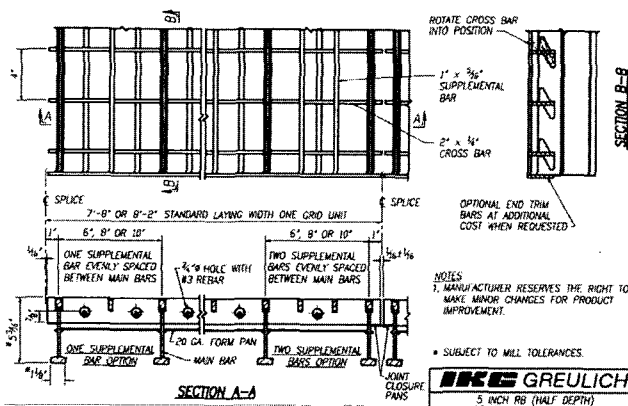
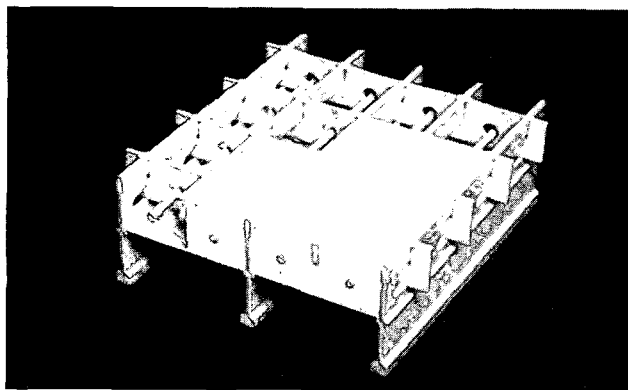


그림 7. Grid Reinforced Deck

### 5.3 일본의 연구 및 적용사례

일본은 1966년경부터 건설성을 중심으로 현수교용 바닥판으로서의 I형강 합성바닥판을 개발하였다. 당시는 本州四國에 도로교, 현수교 등의 건설이 다수 계획되고 있었던 때이며, 開門橋에 적용을 목표로 연구가 수행되었다. 1966년경부터 자료조사가 건설성 토목연구소에 의하여 시작되어, 구조해석과 바닥판의 두께, 지간의 거리, 단위면적당 중량, I형강의 형태 등이 연구되었으며, 미국에서 개발된 I-beam rock에 매우 흡사한 구조로 구상되었다. 정적재하실험의 결과, 이들 구조는 충분한 횡방향 분배능력을 갖고 있어 판으로서의 거동을 나타내며 콘크리트와의 합성도 충분하였다. 특히, 압축에 유효한 철근 콘크리트 구조로서 설계할 수 있는 것 등이 보고되었다. 단, 평강을 사용한 이 구조에서는 강재의 연결부분에 용접이 많고 피로강도에 대해서는 취약하였으므로 차후의 과제로 남게 되었다. 그 후, 피로성능 개선을 목적으로 횡부재의 평강을 피로문제가 적은 각강으로 바꾼 연구를 계속 수행하였다. 한편, 패널간의 조합, 주거더와 바닥판과의 조합 등의 연결구조에 대해서는 미국에서 연구개발 당시, 용접을 많이 사용했고 현장작업이 많았던 점, 또 피로의 문제가 있었던 점을 착안하여, 일본에서는 시공성 개선을 도모하기 위해 패널간의 I형강과 배력근의 연결방법, 주거더와 바닥판의 연결방법에 대한 연구가 이루어져 왔다. 이들 연구결과를 토대로 실제 교량에 대한 재하실험을 거쳐 開門橋에 적용할 설계법이 제안되었다. 이 제안된 설계법 중 등방성판 해석은 그 후에 연구 성과에 따라 이방성판 해석으로 발전하게 되지만 일련의 개정을 거쳐 표준적인 설계법으로서 사용되었다. 이후 검토과정을 거쳐 開門橋(1973년 완성)에 I형강 합성 바닥판이 사용되게 되었다. 한편, 바닥판은 횡형에서 지지되고 횡형 간격은 2.1m, 바닥판의 두께는 150mm로 줄이면서 경량화를 도모하기 위해 경량 콘크리트를 쓰고 콘크리트의 피복두께를 20mm로 하였으며 상부의 배력 철근을 I형강의 복부에 관통시키는 형태로 하여 바닥판 두께의 저감을 이루었으며, 경량화에 성공하게 되었다.

일반교에서 사용한 사례는 開門橋의 시공에 앞서 1969년에 I형강 합성바닥판의 시공성을 연구하기 위하여 동명고속도로를 횡단하는 忍澤橋와 동해도선을 횡단하는 用宗高架橋가 시공되었다. 인차교에서는 공기단축을 최대의 목표로 하였고 현장의 지반조건이 나쁘기 때문에 바닥판의 경량화가 절실히 요청되는 시공조건이었으며, 그 결과 인장축에 콘크리트가 없는 구조로 시공되었다. 시공의 결과 RC 바닥판의 표준공기의 1/3 공기로서 시공됐으며, 인차교의 I형강 합성바닥판은 주거더 간격 3.4m에 대하여 바닥판 두께가 175mm이며 고속도로의 바닥판에는 최악피로조건임에도 불구하고, 가설후 약 30년이 경과한 오늘날에 와서도 보수, 보강없이 공용중에 있다. 그 후, 현수교 규모가 거대화하여 가는 과정에서 바닥판 고정하중의 경감 필요성에 따라, 현수교용 바닥

판으로서의 강 바닥판이 주류가 되어갔다. 그 때문에 1977년 완성의 평호대교 이후 I형강 합성바닥판이 대규모 현수교에 사용되는 일은 없게 되었으나 I형강 합성바닥판을 일반강교용 바닥판으로 사용되는 것을 계기로 새로운 검토가 시작되었다. 새로운 연구는 두 방향으로 진행되었는데 하나는 바닥판의 이방성에 대한 연구이며 또 하나는 피로내구성에 관한 연구이다. 여러 가지의 실험 연구결과 '강 도로교 설계사전(1980년)' 등에 설계법이 정리된 것이 일반교에서의 설계지침이 되었다. RC 바닥판에 비해 경량성, 안전시공성, 급속시공성 등이 평가되어 아치교 등의 대규모 교량(고정하중경감·안전시공) 노선교·도로교 등이 신설교 등에 사용되었으며, 바닥판 두께에 제한이 있는 경우, 급속시공성이 요구되는 경우 또는 바닥판을 교환하여 설치하는 개착교에 빈번히 사용되었으며 오늘날에 이르게 되었다.

최근 건설비용의 감소, 시공의 간소화라는 관점에서 강교에 있어서는 주거더의 수량을 줄이고 구조를 단순화한 소수거더교가 주목되고 있다. 거더의 개수가 감소한다는 것은 거더에 의하여 지지되고 있는 바닥판의 지지간격이 크게 되는 것을 의미한다. 종래, 도로교 시방서에서는 RC 바닥판의 사례로써 주로 주거더 간격을 짧게 하고 바닥판 두께를 두껍게 하는 것에 의하여 바닥판의 내구성을 확보하려 하였으나 I형강 합성 바닥판의 설계는 강 도로교 설계사전에 규정되어 있던 적용범위를 도로교 시방서의 RC 바닥판과 똑같이 4m 이하로 제한하였다. 그러나, 최근 소수거더교로의 사용을 목적으로 여러 가지 형식의 합성 바닥판이 제안되었으며, I형강 합성 바닥판에 대해서도 급속시공, 안전시공 등의 특징을 살릴 수 있게 하고 장지간에 적용하기 위한 연구가 추진되어 왔다. 소수거더교로의 적용을 위하여 종전의 높이가 105 mm, 130 mm, 150 mm인 3종의 I형강 규격에 새로이 높이가 200 mm라는 대형의 I형강(I-200)이 제시하여 그에 따르는, 설계법, 피로내구성 등, 바닥판 지간 8m 정도까지를 확장할 수 있는 I형강 합성 바닥판에 대한 종합적 연구가 수행되었다.

일본에서는 일반 구조용 압연 강재로 제작한 특수치수의 합성 바닥판용 I형강을 사용한다. 그 치수는 제작사에 따라 약간씩 다르나 높이가 105 mm, 130 mm, 150 mm의 3종류가 주로 사용되며, 배력철근을 I형강 복부 내부 혹은 상부플랜지 위에 배치하고, 콘크리트 타설 및 부착이 용이하게 하기 위하여 복부에 홈을 내어 사용한다. I형강의 직각 방향에는 주로 철근을 배치하며 I형강이 덮이도록 콘크리트를 타설하는 솔리드 타입(solid type)과 강재의 일부가 노출된 오픈 타입(open type)의 두 종류가 있다. <그림 8>에 대표적인 예를 나타내었다.

### 7. 장지간 바닥판

강합성 소수 거더교는 기존 판형교에 비해 많은 장점이 있는 교량형식이지만 우리나라의 경우는 고강도의 극후판에 대한 이론

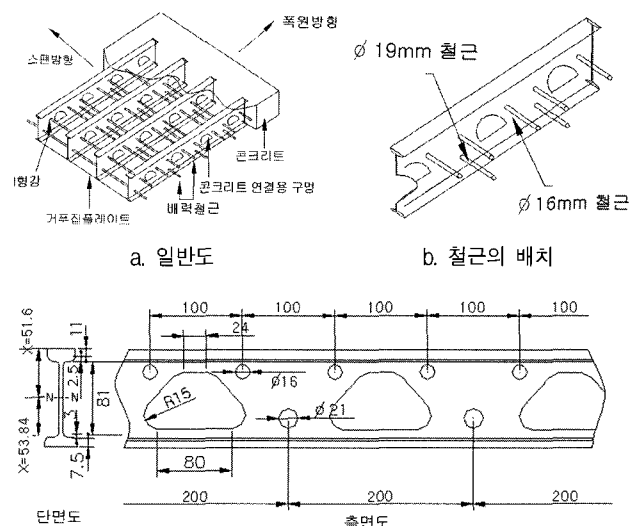


그림 8. I형강 합성 바닥판(단위: mm)

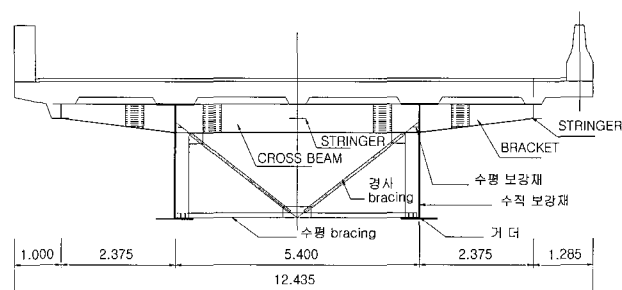


그림 9. 국내의 강합성 소수 거더교

적, 실험적 검증이 되지 않아 극후판의 생산 및 용접에 대한 불안으로 두께가 얇은 보통 강재로 제작이 가능한 강상자 거더교나 다수의 거더를 갖는 판형교가 주를 이루어 왔다. 그러나, 최근 들어 인건비 상승으로 재료비에 대한 비중이 줄어들면서 용접 및 부재수가 적게되는 단순화, 합리화 개념을 도입한 경제적인 교량 건설을 위해 강합성 소수 거더교 도입을 위한 연구가 시작되었다.

일반적인 판형교와 마찬가지로 소수 거더교의 상부구조는 크게 거더 부분과 교량바닥판 부분으로 나눌 수 있다. 거더 부분의 연구 과제는 극후판에 대한 구조적 안전성 및 용접 문제의 해결이며 최근 활발한 연구를 통해 현재에 이르러서는 강판의 제작기술이 계속 발전되고 극후판 용접에 대한 품질보증 및 용접기술의 발달로 많은 시공 실적을 가지고 있다. 공용 중 교량의 손상이 주로 발생하는 곳은 교량 바닥판 부분으로 교량의 수명을 좌우한다. 국내의 경우 바닥판 지간이 4m 이하인 일반적인 판형교의 교량 바닥판에 대한 정적 파괴 거동 및 피로손상 거동을 규명하기 위한 실험 및 이론적인 연구는 많이 수행되어 왔지만 강합성 소수 거더교인 2거더교 또는 3거더교의 장지간 교량바닥판에 대한 연구 및 설계와 시공자료는 거의 없는 실정이다. 개정된 도로교 설계기준에서도 장지간 교량 바닥판의 언급은 했지만 새로운 설계법은 제시하지 못하고 있다<sup>9)</sup>. 최근 국내에서의 강합성 소수

거더 교량은 처음 대구-포항간 고속도로에 2거더교 및 3거더교가 적용되었으나 장지간 교량 바닥판에 대한 안전성이 충분히 검증되지 못했기 때문에 (그림 9)에서와 같이 바닥판 지간 중앙에 세로보를 도입하여 기존 교량 바닥판에서 벗어나지 못하였다. 또한, 청주-상주간 고속도로에 거더 간격이 6m인 PSC 교량 바닥판을 갖는 2거더교가 건설 중에 있으나, 바닥판의 두께가 너무 두껍게 설계되어 과도한 자중으로 거더와 하부구조에도 비효율적인 영향을 미치는 것으로 지적되고 있다. 따라서, 합리적이고 경제적인 소수 거더교를 개발하기 위해서는 장지간 교량바닥판에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이러한 장지간 교량바닥판의 실용화를 위해서는 현행 도로교 설계기준의 교량바닥판 설계법에 대한 검토 및 보완이 필요하며, 지간 증대에 따른 파괴모드의 평가가 필요하다.

최근, 강합성 거더교 합리화의 일환으로 거더 수를 감소시켜 거더간 거리가 장지간화 된 2거더교가 주목받고 있다. 2거더교는 기존의 판형교에 비해 거더 및 부재 개수를 최소화하여 강재 물량, 강재 중량, 용접 연장 및 도장 면적의 감소 등으로 경제성이 우수할 뿐만 아니라 단순한 구조로 인한 시공성의 향상 및 용접수의 감소로 피로내구성이 뛰어난 교량 형식으로서 미관이 좋고 유지관리가 용이하다는 장점이 있다<sup>10)</sup>. 2거더교는 주형간 폭이 넓기 때문에 바닥판 지간이 길어지고 바닥판에 작용하는 휨모멘트가 커진다. 그 때문에 종래의 RC 구조는 바닥판이 두꺼워지는 비경제적이 되어 교축직각방향으로 프리스트레스를 도입한 PSC 바닥판을 사용할 필요가 있다. 이와 같이 PSC 바닥판을 갖는 2거더교는 이미 일본과 스위스, 프랑스 등 유럽에서는 많은 시공 사례가 있는 일반화되어 있는 형식이지만<sup>11)</sup>, 국내에서는 최근에 일부 연구자에 의해 실용화 연구가 활발히 진행 중에 있다.

교량 바닥판 최소두께에 대한 현 도로교 설계기준은 주로 주형간격이 좁은 교량 바닥판을 대상으로 하기 때문에 최근 들어 국내에서도 적용이 시작되고 있는 2거더교 장지간 바닥판에 현 규정을 그대로 적용하는 경우에는 바닥판 두께가 과도하게 두꺼워져 고정하중의 영향이 지나치게 증가되는 문제점을 내포하고 있다. 한 예로, 최근에 국내에서 시공중인 주형간격이 6m인 판형교의 경우, PSC 바닥판의 두께는 정모멘트부에서 350 mm, 부모멘트부에서는 450 mm로 설계되어<sup>12)</sup> 과도한 자중으로 인해 거더와 하부구조에도 비효율적인 영향을 미치는 것으로 지적되고 있다. 이와 같이 현재 국내에서 바닥판 설계시 바닥판 지간은 기존 플레이트 거더교에서는 대략 3m 이하였으나, 2거더교에서는 최소 5m 이상으로 지간이 증대하므로 이를 적용하기 위해서는 현재의 바닥판 설계법에 대한 검토가 필요하다. 즉, 현행 도로교 설계기준에 의해 장지간 바닥판을 설계하는 경우, 바닥판의 두께가 과도해지는 최소두께 규정을 그대로 적용하여야 하는지 등에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

## 7. 결 론

최근 자료에 의하면 교량의 구조요소 중 바닥판의 수명은 주형에 비하여 상대적으로 짧은 것으로 나타나고 있다. 이러한 현상이 발생하는 원인은 여러 가지가 있으나 주로 국내에서는 차량의 반복통행에 의한 피로편칭전단파괴가 주 요인으로 판단된다. 현재 대부분의 교량바닥판은 현장타설 RC로 건설되는데 공용 후 평균 약 20년 정도가 경과하면 편칭전단파괴가 발생하여 이에 따른 보수 및 보강공사가 지속적으로 시행되는 실정이다. 이에 대한 해결책으로 바닥판의 피로저항성을 개선시키고 내구수명을 향상시키며 2주형교나 개구제 박스거더교와 같이 새롭게 개발되는 신형식 주형에 적합한 새로운 바닥판의 개발이 절실한 실정이다. 본고에서 소개된 바와 같이 프리캐스트 바닥판, 합성 바닥판, 장지간 바닥판이 연구되어 실용화되고 있고, 복합소재 바닥판도 개발되고 있다. 향후 이러한 바닥판의 적극적인 적용으로 유지관리 최소화(maintenance free) 또는 장수명화 교량의 건설이 가능할 것으로 기대된다. □

## 참고문헌

1. 김영진, 정철현, 김철영, "현장타설 철근콘크리트 바닥판의 손상과 대책," 콘크리트학회지, 제9권 4호, 1997, pp.57~65.
2. Matsui, S., Nishikawa, K., Ota, K., "What is the bridge floor?," Bridge and Foundation Engineering, Vol.32, No.4, 1998, pp.47~53.
3. Toriumi Ukon, Kuramoto Kenichi, "Rapid Construction of Bridge Slab by Precast Concrete Members," Bridge and Foundation Engineering, Vol.26, No.8, 1992, pp.91~97.
4. NCB研究會, "新しい合成構造と橋," 山海堂, 1996, pp.31~83.
5. 김영진, 정철현, 박철림, "급속시공을 위한 프리캐스트 콘크리트 교량 바닥판의 활용," 콘크리트학회지, 제9권 1호, 1997, pp.68~75.
6. 김주화 외 3인, "삼천포대교(콘크리트 강합성 사장교)의 설계 및 시공," 콘크리트학회지, 제15권 6호, 2003, pp. 90~95.
7. 교량용 장수명 합리화 바닥판 개발(I)(I형강 합성 중공바닥판의 요소개발) 최종보고서, 중앙대학교, 2002. 12.
8. 大田孝二 外 3人, "鋼少數主桁橋に使用するI形鋼格子床版の設計法に關す考察," 橋梁と基礎, Vol.31, No.2, 1997. 2, pp.35~44.
9. 건설교통부, 도로교 설계기준, 2003.
10. 高橋, 鈴木, 三戸, 白井, "鋼橋における省力化・耐久性・經濟性の追求," ハイウエイ技術, No.1, 1995, pp.87~94.
11. (財)高速道路調査會, "橋梁の單純化に關する調査檢討報告書", 1993, pp.95~119.
12. 한국도로공사, "청주~상주간 고속도로 설계보고서 및 구조계산서", 2000.